

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-122896

(43)Date of publication of application : 26.04.2002

(51)Int.Cl.

G02F 1/35

(21)Application number : 2000-312039

(71)Applicant : MITSUBISHI ELECTRIC CORP

(22)Date of filing : 12.10.2000

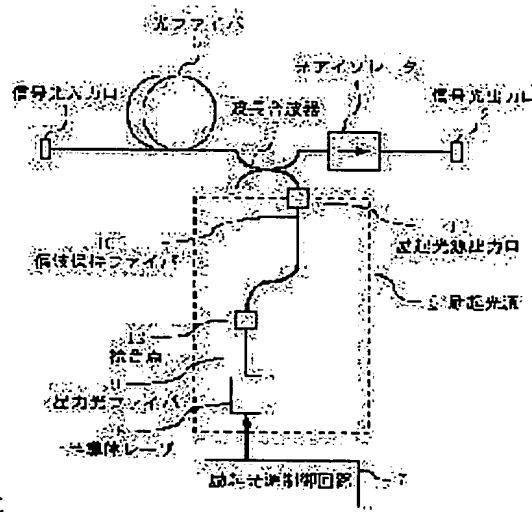
(72)Inventor : SUZUKI MASAO  
SHIMIZU KATSUHIRO  
KOGURE TAICHI

## (54) RAMAN AMPLIFIER

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To suppress PDG that becomes one of the causes of the degradation in transmission characteristics of a Raman amplifier.

**SOLUTION:** In the amplifier, the transmission loss of signal light beams propagated through a transmission path is compensated for by a Raman amplification effect of stimulated light beams inputted to the path from a stimulating light source. The source is provided with a semiconductor laser which outputs light, a polarization holding fiber which propagates the outputted light of the laser for longer than a prescribed length in two polarization modes that have a propagation constant difference and are mutually orthogonal and a stimulated light source outputting port which outputs the output light propagated through the fiber as stimulated light to be inputted to the transmission path.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of

rejection or application converted  
registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of requesting appeal against  
examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2002-122896  
(P2002-122896A)

(43) 公開日 平成14年4月26日 (2002. 4. 26)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームト <sup>*</sup> (参考)
G 0 2 F 1/35	5 0 1	G 0 2 F 1/35	5 0 1 2 K 0 0 2

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2000-312039 (P2000-312039)

(22) 出願日 平成12年10月12日 (2000. 10. 12)

(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72) 発明者 鈴木 巨生

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

(72) 発明者 清水 克宏

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

(74) 代理人 100102439

弁理士 宮田 金雄 (外1名)

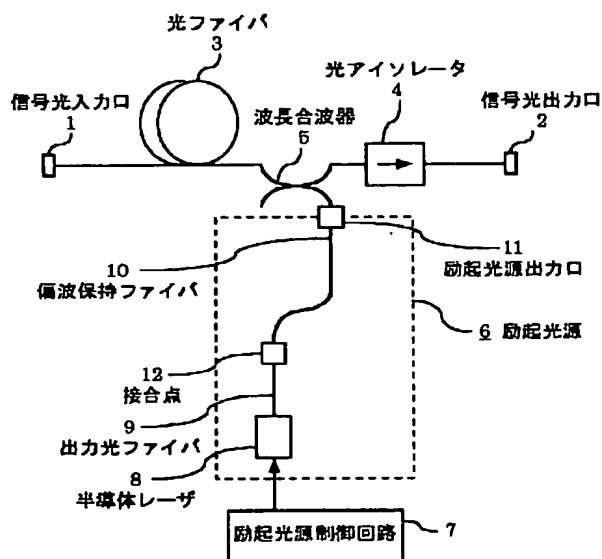
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ラマン増幅器

(57) 【要約】

【課題】 ラマン増幅器において伝送特性劣化の一因となるPDGを抑圧する。

【解決手段】 伝送路を伝搬される信号光の伝送損失を励起光源から上記伝送路に入力された励起光のラマン増幅効果により補償するものであって、上記励起光源は、光を出力する半導体レーザと、上記半導体レーザの出力光を伝搬定数差のある互いに直交した2つの偏波モードで所定長以上伝搬する偏波保持ファイバと、上記偏波保持ファイバを伝搬された出力光を上記伝送路に入力される励起光として出力する励起光源出力口とを備える。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 伝送路を伝搬される信号光の伝送損失を励起光源から上記伝送路に入力された励起光のラマン増幅効果により補償するラマン増幅器において、

上記励起光源は、

光を出力する半導体レーザと、

上記半導体レーザの出力光を伝搬定数差のある互いに直交した2つの偏波モードで所定長以上伝搬する偏波保持ファイバと、

上記偏波保持ファイバを伝搬された出力光を上記伝送路に入力される励起光として出力する励起光源出力口とを備えたことを特徴とするラマン増幅器。

【請求項2】 上記励起光源は、

上記半導体レーザと、上記偏波保持ファイバとを有する無偏光化部をすべての上記半導体レーザの出力光が異なる波長となるように複数備え、

さらに、複数の上記偏波保持ファイバを伝搬された複数の出力光を合波する波長多重化回路を備え、

上記励起光源出力口は、上記波長多重化回路で合波された出力光を上記伝送路に入力される励起光として出力するように構成されたことを特徴とする請求項1に記載のラマン増幅器。

【請求項3】 伝送路を伝搬される信号光の伝送損失を励起光源から上記伝送路に入力された励起光のラマン増幅効果により補償するラマン増幅器において、

上記励起光源は、

互いに異なる波長の光を出力する2つの半導体レーザと、

上記2つの半導体レーザの出力光を直交合成する偏波合成器と、

上記偏波合成器で合成された出力光を伝搬定数差のある互いに直交した2つの偏波モードで所定長以上伝搬する偏波保持ファイバと、

上記偏波保持ファイバを伝搬された出力光を上記伝送路に入力される励起光として出力する励起光源出力口とを備えたことを特徴とするラマン増幅器。

【請求項4】 上記励起光源は、

上記2つの半導体レーザと、上記偏波合成器と、上記偏波保持ファイバとを有する無偏光化部をすべての上記半導体レーザの出力光が異なる波長となるように複数備え、

さらに、複数の上記偏波保持ファイバを伝搬された複数の出力光を合波する波長多重化回路を備え、

上記励起光源出力口は、上記波長多重化回路で合波された出力光を上記伝送路に入力される励起光として出力するように構成されたことを特徴とする請求項3に記載のラマン増幅器。

【請求項5】 上記偏波保持ファイバは、当該偏波保持ファイバの主軸が上記半導体レーザの出力偏波方向に対して45°傾くように設置されたことを特徴とする請求

項1ないし請求項4のいずれかに記載のラマン増幅器。

【請求項6】 上記半導体レーザの出力光の波長を安定化させる外部共振器を備えたことを特徴とする請求項1ないし請求項5のいずれかに記載のラマン増幅器。

【請求項7】 上記半導体レーザのバイアス電流に任意の変調周波数を重畳したことを特徴とした請求項1ないし請求項6のいずれかに記載のラマン増幅器。

【請求項8】 上記半導体レーザのスペクトル線幅が1nm以上になるように上記半導体レーザのバイアス電流に変調周波数を重畳したことを特徴とした請求項7に記載のラマン増幅器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、伝送路を伝搬される信号光の伝送損失を上記伝送路に入力された励起光のラマン増幅効果により補償するラマン増幅器に関するものである。

【0002】

【従来の技術】ラマン増幅技術を用いた分布型光ファイバ増幅器は、従来の3R(Reshaping, Retiming, Regenerating)機能を有する光中継器と比較して、伝送速度に依存しない、中継器の簡素化が可能、波長多重による大容量化が可能などの望ましい特徴を有しており、光通信システムの柔軟性を高めるキーコンポーネントとして期待されている。

【0003】従来、この種のラマン光増幅器としては、例えば 特開平10-73852号公報あるいは特開昭60-236277号公報に示された例が有り、図7は、特開平10-73852号公報に示された従来のラマン光増幅器の構成を示す図である。

【0004】上記図7において、71は信号光が入力する増幅器の信号光入力口、72は信号光が出力する増幅器の信号光出力口、73は信号光の増幅媒体としての光ファイバ(以下、光ファイバと略す)、75は信号光と励起光を低損失で結合する波長合波器、74は信号光及び励起光の多重反射を抑える光アイソレータ、771、772は励起光を発生する第1及び第2の励起光源、76は励起光源771及び772からの励起光を合波する波長多重化回路、78は励起光源771及び772を制御する励起光源制御回路である。

【0005】動作について説明する。励起光源制御回路78が第1及び第2の励起光源771及び772を制御すると、当該第1及び第2の励起光源771及び772は励起光を発生する。これらの励起光は、波長多重化回路76で低損失で合波された後、波長合波器75を介して光ファイバ73に入力される。すると、上記光ファイバ73では、上記入力された励起光の励起電力によりラマン増幅作用が生じる。信号光入力口71から入力され、光ファイバ73を伝搬した光信号は、上記ラマン増幅作用により増幅された後、波長合波器75、光アイソレータ74を低損失で伝搬し、信号光出力口72より出力される。

【0006】次に、第1及び第2の励起光源771、772の作用について詳述する。ラマン増幅作用は、励起光源の波長から約90nm長波長側の波長を中心に50nmの増幅帯域を有する。従って、例えば第1の励起光源771の波長を1450nm、第2の励起光源772の波長を1500nmとすれば、1515nm～1615nmの増幅帯域が実現できる。このように、励起波長を複数にすることにより、100nm程度、あるいはそれ以上の任意の増幅帯域が実現できる。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】ところで、上述したラマン増幅器では、励起光源として半導体レーザが使用されるが、当該半導体レーザ出力では、本来レーザはコヒーレントな光源なため、偏光方向が殆ど一定に保たれており、ラマン増幅器において偏波依存性利得変動（以下、PDG: Polarization dependent gainと呼ぶ）を発生させるという問題点があった。

【0008】以下、この問題点について説明する。次式(1)は、ラマン利得Gを定義する式である。

【0009】

【数1】

$$G = \exp \left[ \frac{gr}{A_{eff}} \cdot \frac{P_p}{K} \cdot L_{eff} \right] \quad (1)$$

$$L_{eff} = \frac{1 - \exp(-\alpha \cdot L)}{\alpha}$$

【0010】上記式(1)において、 $P_p$ は光ファイバ53へ入力される励起光電力[W]、 $L$ は光ファイバ長[m]、 $gr$ はラマン利得係数であり、1550nmにおいて $1.0 \times 10E-13$  [m/W]、 $A_{eff}$ は光ファイバ53の有効断面積で約 $50 \mu m^2$ 、 $L_{eff}$ は光ファイバ53の実効長であり、 $\alpha$ は光ファイバの損失であり、 $0.4605$  [neper/m] である。また $K$ は励起光の偏波状態を表す定数であり、1～2である。

【0011】上記式(1)より、励起光の偏波状態変化に伴うPDG= $\Delta G$ は、次式(2)によって表す事ができる。

【数2】

$$\frac{\Delta G}{G} = \frac{gr}{A_{eff}} \cdot L_{eff} \cdot \frac{P_p}{\Delta K} \quad (2)$$

【0012】上記式(2)において $\Delta K$ は励起光偏波状態の変化量である。

【0013】したがって、光ファイバ53へ入力される励起光偏波状態が変動すれば、PDG= $\Delta G$ も最大で2倍変動する。逆に、励起光偏波状態が無偏波状態 $\Delta K=0$ であれば、PDG= $\Delta G=0$ となる。このような、ラマン増幅器利得の変動はラマン増幅器が線形に連なった光伝送システムにおいて積み重なり、受信端では大きな伝送特性の劣化が発生する可能性が有る。

【0014】この発明は上記のような問題点を解決する

ためになされたもので、ラマン増幅器において、伝送特性劣化の一因となり得るPDGを抑圧することを目的とする。

【0015】

【課題を解決するための手段】この発明に係るラマン増幅器は、伝送路を伝搬される信号光の伝送損失を励起光源から上記伝送路に入力された励起光のラマン増幅効果により補償するものであって、上記励起光源は、光を出力する半導体レーザと、上記半導体レーザの出力光を伝搬定数差のある互いに直交した2つの偏波モードで所定長以上伝搬する偏波保持ファイバと、上記偏波保持ファイバを伝搬された出力光を上記伝送路に入力される励起光として出力する励起光源出力口とを備えたものである。

【0016】また、次の発明に係るラマン増幅器は、上記励起光源は、上記半導体レーザと、上記偏波保持ファイバとを有する無偏光化部をすべての上記半導体レーザの出力光が異なる波長となるように複数備え、さらに、複数の上記偏波保持ファイバを伝搬された複数の出力光を合波する波長多重化回路を備え、上記励起光源出力口は、上記波長多重化回路で合波された出力光を上記伝送路に入力される励起光として出力するように構成されたものである。

【0017】さらにまた、次の発明に係るラマン増幅器は、伝送路を伝搬される信号光の伝送損失を励起光源から上記伝送路に入力された励起光のラマン増幅効果により補償するものであって、上記励起光源は、互いに異なる波長の光を出力する2つの半導体レーザと、上記2つの半導体レーザの出力光を直交合成する偏波合成器と、上記偏波合成器で合成された出力光を伝搬定数差のある互いに直交した2つの偏波モードで所定長以上伝搬する偏波保持ファイバと、上記偏波保持ファイバを伝搬された出力光を上記伝送路に入力される励起光として出力する励起光源出力口とを備えたものである。

【0018】また、次の発明に係るラマン増幅器は、上記励起光源は、上記2つの半導体レーザと、上記偏波合成器と、上記偏波保持ファイバとを有する無偏光化部をすべての上記半導体レーザの出力光が異なる波長となるように複数備え、さらに、複数の上記偏波保持ファイバを伝搬された複数の出力光を合波する波長多重化回路を備え、上記励起光源出力口は、上記波長多重化回路で合波された出力光を上記伝送路に入力される励起光として出力するように構成されたものである。

【0019】また、次の発明に係るラマン増幅器は、上記偏波保持ファイバは、当該偏波保持ファイバの主軸が上記半導体レーザの出力偏波方向に対して $45^\circ$ 傾くように設置されたものである。

【0020】また、次の発明に係るラマン増幅器は、上記半導体レーザの出力光の波長を安定化させる外部共振器を備えたものである。

【0021】また、次の発明に係るラマン増幅器は、上記半導体レーザのバイアス電流に任意の変調周波数を重畳したものである。

【0022】また、次の発明に係るラマン増幅器は、上記半導体レーザのスペクトル線幅が1nm以上になるように上記半導体レーザのバイアス電流に変調周波数を重畳したものである。

【0023】

【発明の実施の形態】以下に添付図面を参照して、この発明にかかるラマン増幅器の好適な実施の形態を詳細に説明する。

【0024】実施の形態1. 図1は、この発明にかかるラマン増幅器の実施の形態1の構成を示す構成図である。上記図1において、1は、信号光が入力される信号光入力口である。2は、増幅された信号光が出力される信号光出力口である。3は、上記信号光入力口1から入力された信号光を伝搬する伝送路であると共に、信号光を増幅する増幅媒体である光ファイバ（以下、光ファイバと略す）である。4は、上記光ファイバ3を伝搬する信号光及び励起光の多重反射を抑える光アイソレータである。5は、光ファイバ3を伝搬する信号光とラマン増幅作用を生じさせる励起光を低損失で結合する波長合波器である。7は、ラマン増幅作用を生じさせる励起光を上記伝送路である光ファイバ3に入力する励起光源である。8は、上記励起光源7を制御する励起光源制御回路である。

【0025】上記励起光源6において、8は、励起光となる光を出力する半導体レーザであり、例えば、レーザ光を出力するファブリペロー型半導体レーザ、分布帰還型半導体レーザ(DFB: Distributed feedback)又は分布ブラッグ反射型半導体レーザ(DBR: Distributed Bragg Reflector)を用いる。9は、上記半導体レーザ8の出力光

$$\gamma(L) = \exp \left[ - \left( \frac{\delta\omega\delta\tau L}{2\sqrt{\ln 2}} \right)^2 \right]$$

$$P = [\cos^2 2\theta + \gamma^2(L) \sin^2 2\theta]^{1/2} \times 100 \quad (3)$$

【0031】なお、上記式(3)において、 $\delta\omega$ は半導体レーザの出力線幅(スペクトル線幅)、 $\delta\tau$ はPMD(Polarized mode dispersion)を表し、1550nmで1.7[ps/m]、Lは偏波保持ファイバの長さ[m]、 $\theta$ は半導体レーザ出力偏波方向と偏波保持ファイバの主軸角度ずれを表す。

【0032】したがって、半導体レーザから出力された出力光は、上記偏波保持ファイバ10を上記式(3)より導出される所定長以上伝搬されることによって、実質上無偏光状態となる。またこのとき、半導体レーザ出力偏波方向と偏波保持ファイバの主軸角度ずれ $\theta$ を45°とすることにより、より短い偏波保持ファイバの長さLで出力光を実質上無偏光状態とすることが可能となる。

を伝搬する出力光ファイバであり、好ましくは偏波保持型の光ファイバを用いる。10は、上記半導体レーザ8の出力光を伝搬定数差のある互いに直交した2つの偏波モードで所定長以上伝搬する偏波保持ファイバである。11は、上記偏波保持ファイバ10を伝搬された出力光を、上記信号光の伝送路である光ファイバ3に入力され、ラマン増幅作用を生じさせる励起光として出力する励起光源出力口である。12は、上記出力光ファイバ9と偏波保持ファイバ10との接合点である。

【0026】図2は、上記接合点12を詳細に示した説明図である。図2において、13は、上記半導体レーザ8の出力光の偏波方向を示す。14は、上記偏波保持ファイバ10の主軸方向を示す。ここで、出力偏波方向13と偏波保持ファイバ主軸方向14とは約45°の角度ずれで接合されている。

【0027】次に、図1及び図2を用いて動作について説明する。図1において、励起光源制御回路7が上記励起光源6を制御すると、当該励起光源6内部の半導体レーザ8がレーザ光を出力する。上記半導体レーザ8から出力されたレーザ光は、出力光ファイバ9を伝搬し、接合点12に達する。

【0028】図2に示すように、接合点12では、出力偏波方向13と偏波保持ファイバ主軸方向14とはずらして接合されているため、上記半導体レーザ8から出力された直線偏光であるレーザ光は、偏波保持ファイバ10では、伝搬定数差のある互いに直交した2つの偏波モードに分割されて伝搬される。

【0029】ここで、半導体レーザから出力された出力光の偏光度P(%)は、以下の式(3)で表される。

【0030】

【数3】

【0033】このように、上記偏波保持ファイバ10を所定長以上伝搬され、実質上無偏光状態となった出力光は、上記信号光の伝送路である光ファイバ3に入力される励起光として、励起光源出力口11より出力される。当該出力された励起光は、波長合波器5を介して光ファイバ3に入力される。すると、上記光ファイバ3では、上記入力された励起光の励起電力によりラマン増幅作用が生じる。このとき、上記励起光は実質上無偏光状態となっているため、ラマン増幅器におけるPDGを抑圧することができる。

【0034】信号光入力口1から入力され、光ファイバ3を伝搬した光信号は、上記ラマン増幅作用により増幅された後、波長合波器5、光アイソレータ4を低損失で伝搬

し、信号光出力口2より出力される。このようにして、ラマン増幅器におけるPDGを抑圧しつつ、ラマン増幅効果により信号光を増幅することができる。

【0035】以上のように、本実施の形態のラマン増幅器によれば、出力光ファイバと偏波保持ファイバとの接合点において、半導体レーザの出力偏波方向と偏波保持ファイバの主軸とをずらして接合して、半導体レーザの出力光を偏波保持ファイバで伝搬定数差のある互いに直交した2つの偏波モードで所定長以上伝搬することにより、光ファイバに入力される励起光が実質上無偏光状態となるので、ラマン増幅器におけるPDGを抑圧しつつ、ラマン増幅効果により信号光を増幅することができる。

【0036】また、本実施の形態のラマン増幅器によれば、出力光ファイバと偏波保持ファイバとの接合点において、半導体レーザの出力偏波方向と偏波保持ファイバの主軸とを $45^\circ$ ずらして接合することにより、より短い偏波保持ファイバの長さで光ファイバに入力される励起光を実質上無偏光状態とすることが可能となるので、励起光源を小型化することができる。

【0037】なお、本実施の形態では、半導体レーザの出力偏波方向と偏波保持ファイバの主軸とを $45^\circ$ ずらして接合する場合について説明したが、これに限定されるものではない。偏波保持ファイバの長さを長くする必要はあるが、 $45^\circ$ 以外の角度であっても光ファイバに入力される励起光を実質上無偏光状態とすることが可能であり、ラマン増幅器におけるPDGを抑圧することができる。

【0038】実施の形態2. 以上の実施の形態では、励起光源から出力される励起光は、1つの半導体レーザから出力された出力光であるが、次に、複数の半導体レーザから出力された複数の出力光を合波して励起光とする場合の実施の形態2を示す。

【0039】図3は、この発明にかかるラマン増幅器の実施の形態2の構成を示す構成図である。図1と同一又は相当部分に同一符号を付し、説明を省略する。

【0040】図3において、81、82、…、8n ( $n \geq 2$ ) は、互いに異なる波長の光を出力する半導体レーザであり、例えば、レーザ光を出力するファブリペロー型半導体レーザ、分布帰還型半導体レーザ又は分布ブラッグ反射型半導体レーザを用いる。91、92、…、9n ( $n \geq 2$ ) は、上記半導体レーザ81、82、…、8nの出力光をそれぞれ伝搬する出力光ファイバであり、好ましくは偏波保持型の光ファイバを用いる。101、102、…、10n ( $n \geq 2$ ) は、上記半導体レーザ81、82、…、8nの出力光をそれぞれ伝搬定数差のある互いに直交した2つの偏波モードで所定長以上伝搬する偏波保持ファイバである。121、122、…、12n ( $n \geq 2$ ) は、上記出力光ファイバ91、92、…、9nと偏波保持ファイバ101、102、…、10nとのそれぞれの接合点である。15は、上記複数の偏波保持ファイバ101、102、…、10nを伝搬された複数の出力光

を合波する波長多重化回路である。

【0041】なお、本実施の形態においては、上記半導体レーザ81と偏波保持ファイバ101、上記半導体レーザ82と偏波保持ファイバ102、…、上記半導体レーザ8nと偏波保持ファイバ10nがそれぞれ無偏光化部である。

【0042】また、図3において、上記各接合点121、122、…、12nは、前述の実施の形態と同様に、図2に示すように、出力偏波方向13と偏波保持ファイバ主軸方向14とは約 $45^\circ$ の角度ずれで接合されている。

【0043】次に、図2及び図3を用いて動作について説明する。図3において、励起光源制御回路7が上記励起光源6を制御すると、当該励起光源6内部の複数の半導体レーザ81、82、…、8nがそれぞれ互いに異なる波長のレーザ光を出力する。上記複数の半導体レーザ81、82、…、8nから出力された複数のレーザ光は、それぞれ対応する出力光ファイバ91、92、…、9nを伝搬し、それぞれ対応する接合点121、122、…、12nに達する。

【0044】図2に示すように、各接合点121、122、…、12nでは、それぞれ出力偏波方向13と偏波保持ファイバ主軸方向14とはずらして接合されているため、上記複数の半導体レーザ81、82、…、8nから出力された直線偏光である複数のレーザ光は、それぞれ対応する偏波保持ファイバ101、102、…、10nでは、それぞれ伝搬定数差のある互いに直交した2つの偏波モードに分割されて伝搬される。

【0045】すると、上記複数の半導体レーザ81、82、…、8nから出力された各出力光は、それぞれ対応する上記複数の偏波保持ファイバ101、102、…、10nを上記式(3)より導出される所定長以上伝搬されることによって、実質上無偏光状態となる。またこのとき、半導体レーザ出力偏波方向と偏波保持ファイバの主軸角度ずれ $\theta$ を $45^\circ$ とすることにより、より短い偏波保持ファイバの長さで出力光を実質上無偏光状態とすることが可能となる。

【0046】このように、上記複数の偏波保持ファイバ101、102、…、10nを所定長以上伝搬され、実質上無偏光状態となった複数の出力光は、波長多重化回路15に入力され、合波される。上記合波された出力光は、上記信号光の伝送路である光ファイバ3に入力される励起光として、励起光源出力口11より出力され、波長合波器5を介して光ファイバ3に入力される。すると、上記光ファイバ3では、上記入力された励起光の励起電力によりラマン増幅作用が生じる。このとき、上記励起光は実質上無偏光状態となっているため、ラマン増幅器におけるPDGを抑圧することができる。また、異なる複数の波長の光を合波した出力光を励起光として光ファイバ3に入力することにより、ラマン増幅器における利得帯域を拡大することができる。

【0047】信号光入力口1から入力され、光ファイバ3を伝搬した光信号は、上記ラマン増幅作用により増幅さ

れた後、波長合波器5、光アイソレータ4を低損失で伝搬し、信号光出力口2より出力される。このようにして、ラマン増幅器におけるPDGを抑圧しつつ、ラマン増幅効果により信号光を増幅することができる。

【0048】以上のように、本実施の形態のラマン増幅器によれば、出力光ファイバと偏波保持ファイバとの各接合点において、半導体レーザの出力偏波方向と偏波保持ファイバの主軸とをずらして接合して、各半導体レーザの出力光を偏波保持ファイバで伝搬定数差のある互いに直交した2つの偏波モードで所定長以上伝搬することにより、光ファイバに入力される励起光が実質上無偏光状態となるので、ラマン増幅器におけるPDGを抑圧しつつ、ラマン増幅効果により信号光を増幅することができる。

【0049】また、本実施の形態のラマン増幅器によれば、出力光ファイバと偏波保持ファイバとの各接合点において、半導体レーザの出力偏波方向と偏波保持ファイバの主軸とを45°ずらして接合することにより、より短い偏波保持ファイバの長さで光ファイバに入力される励起光を実質上無偏光状態とすることが可能となるので、励起光源を小型化することができる。

【0050】また、本実施の形態のラマン増幅器によれば、異なる複数の波長の光を合波し、励起光として光ファイバに入力することにより、ラマン増幅器における利得帯域を拡大することができる。

【0051】なお、本実施の形態では、半導体レーザの出力偏波方向と偏波保持ファイバの主軸とを45°ずらして接合する場合について説明したが、これに限定されるものではない。偏波保持ファイバの長さを長くする必要はあるが、45°以外の角度であっても光ファイバに入力される励起光を実質上無偏光状態とすることが可能であり、ラマン増幅器におけるPDGを抑圧することができる。また、すべての接合点において、半導体レーザの出力偏波方向と偏波保持ファイバの主軸とのずれ角を同一にしなくても良く、それぞれ異なる角度に設定しても良い。

【0052】実施の形態3。以上の実施の形態では、1つの半導体レーザから出力された出力光を1本の偏波保持ファイバで実質上無偏波状態にするものであるが、次に、2つの半導体レーザから出力された2つの出力光を合波して1本の偏波保持ファイバで実質上無偏波状態にする場合の実施の形態3を説明する。

【0053】図4は、この発明にかかるラマン増幅器の実施の形態3の構成を示す構成図である。図1又は図3と同一又は相当部分に同一符号を付し、説明を省略する。

【0054】図4において、81、82、…、8(2m-1)、8(2m) (m ≥ 2) は、互いに異なる波長の光を出力する半導体レーザであり、例えば、レーザ光を出力するファブリペロー型半導体レーザ、分布帰還型半導体レーザ又は分

布ブラッグ反射型半導体レーザを用いる。91、92、…、9(2m-1)、9(2m) (m ≥ 2) は、上記半導体レーザ81、82、…、8(2m-1)、8(2m)の出力光をそれぞれ伝搬する出力光ファイバであり、好ましくは偏波保持型の光ファイバを用いる。161、162、…、16(2m-1)、16(2m) (m ≥ 2) は、上記半導体レーザ81、82、…、8(2m-1)、8(2m)の出力光の波長をそれぞれ安定化させる外部共振器であり、ここでは、ファイバグレーティングを用いる。

【0055】171、172、…、17n (n ≥ 2) は、上記半導体レーザ81、82、…、8(2m-1)、8(2m)の2つずつの出力光を直交合成する偏波合成器である。例えばここでは、偏波合成器171は、2つの半導体レーザ81、82のそれぞれの出力光を直交合成するように構成されている。181、182、…、18n (n ≥ 2) は、上記偏波合成器171、172、…、17nでそれぞれ直交合成された上記半導体レーザ81、82、…、8nの出力光をそれぞれ伝搬する合成出力光ファイバであり、好ましくは偏波保持型の光ファイバを用いる。

【0056】19は、上記半導体レーザ81、82、…、8(2m-1)、8(2m)のバイアス電流に任意の変調周波数を重畳させる外部変調器（図示せず）から発生された外部変調信号である。101、102、…、10n (n ≥ 2) は、上記偏波合成器171、172、…、17nでそれぞれ直交合成された上記半導体レーザ81、82、…、8nの出力光を、それぞれ伝搬定数差のある互いに直交した2つの偏波モードで所定長以上伝搬する偏波保持ファイバである。121、122、…、12n (n ≥ 2) は、上記合成出力光ファイバ181、182、…、18nと上記偏波保持ファイバ101、102、…、10nとのそれぞれの接合点である。

【0057】なお、本実施の形態においては、上記半導体レーザ81、82と偏波合成器171と偏波保持ファイバ101、…、上記半導体レーザ8(2m-1)、8(2m)と偏波合成器17nと偏波保持ファイバ10nがそれぞれ無偏光化部である。

【0058】図5は、上記接合点121を詳細に示した説明図である。なお、他の接合点も同様に接合されている。図5において、131は、上記半導体レーザ81の出力光の偏波方向を示す。132は、上記半導体レーザ82の出力光の偏波方向を示す。14は、上記偏波保持ファイバ101の主軸方向を示す。ここで、出力偏波方向131と出力偏波方向132とは約90°で合成されており、上記出力偏波方向131及び出力偏波方向132と偏波保持ファイバ主軸方向14とは約45°の角度ずれで接合されている。

【0059】次に、図4及び図5を用いて動作について説明する。図4において、励起光源制御回路7が上記励起光源6を制御すると、当該励起光源6内部の複数の半導体レーザ81、82、…、8(2m-1)、8(2m)がそれぞれ互いに異なる波長のレーザ光を出力する。このとき、外部変調器（図示せず）から発生された外部変調信号19により、上記半導体レーザ81、82、…、8(2m-1)、8(2m)のバイア



ス電流に任意の変調周波数が重畳される。これにより半導体レーザの出力光を、半導体レーザ及び外部変調器による出力光とし、任意のスペクトル線幅とすることが可能となる。

【0060】そして、上記複数の半導体レーザ81、82、…、8(2m-1)、8(2m)から出力された複数のレーザ光は、それぞれ対応する外部共振器161、162、…、16(2m-1)、16(2m)により、波長を安定化されてそれぞれ対応する出力光ファイバ91、92、…、9(2m-1)、9(2m)を伝搬する。

【0061】上記各出力光ファイバ91、92、…、9(2m-1)、9(2m)を伝搬した各出力光は、それぞれ対応する偏波合成器171、172、…、17nで直交合成され、それぞれ対応する合成出力光ファイバ181、182、…、18nを伝搬し、それぞれ対応する接合点121、122、…、12nに達する。例えば、半導体レーザ81、82のそれぞれから出力されたレーザ光は、偏波合成器171で直交合成され、合成出力光ファイバ181を伝搬し、接合点121に達する。

【0062】図5に示すように、各接合点121、122、…、12nでは、2つの半導体レーザの出力偏波方向132と出力偏波方向131とは互いに直交しており、さらに、上記出力偏波方向132及び出力偏波方向131と偏波保持ファイバ主軸方向14とは約45°の角度ずれで接合されているため、上記複数の半導体レーザ81、82、…、8(2m-1)、8(2m)から出力された直線偏光である複数のレーザ光は、それぞれ対応する偏波保持ファイバ101、102、…、10nでは、それぞれ伝搬定数差のある互いに直交した2つの偏波モードに分割されて伝搬される。

【0063】すると、上記複数の半導体レーザ81、82、…、8(2m-1)、8(2m)から出力された各出力光は、それぞれ対応する上記複数の偏波保持ファイバ101、102、…、10nを上記式(3)より導出される所定長以上伝搬されることによって、実質上無偏光状態となる。またこのとき、半導体レーザ出力偏波方向と偏波保持ファイバの主軸角度ずれ $\theta$ を45°とすることにより、より短い偏波保持ファイバの長さで出力光を実質上無偏光状態とすることが可能となる。

【0064】なお、本実施の形態では、外部変調器(図示せず)から発生された外部変調信号19により、上記半導体レーザ81、82、…、8(2m-1)、8(2m)のバイアス電流に任意の変調周波数が重畳されているため、上記式(3)における $\delta\omega$ は、半導体レーザ及び外部変調器による出力線幅(スペクトル線幅)とする。

【0065】図6は、 $\delta\omega=1\text{nm}$ とした時の、偏波保持ファイバの長さ $L$ と偏光度 $P$ の関係を示す図である。図6から分かるように、半導体レーザ及び外部変調器による出力線幅(スペクトル線幅)を $\delta\omega=1\text{nm}$ とすることで、偏波保持ファイバ長さ $L$ が6m程度の短尺な長さで無偏光な状態 $P=0\%$ とすることができ、ラマン増幅器におけるPDGを簡単に抑圧することができる。

【0066】このように、上記複数の偏波保持ファイバ

101、102、…、10nを所定長以上伝搬され、実質上無偏光状態となった複数の出力光は、波長多重化回路15に入力され、合波される。上記合波された出力光は、上記信号光の伝送路である光ファイバ3に入力される励起光として、励起光源出力口11より出力され、波長合波器5を介して光ファイバ3に入力される。すると、上記光ファイバ3では、上記入力された励起光の励起電力によりラマン増幅作用が生じる。このとき、上記励起光は実質上無偏光状態となっているため、ラマン増幅器におけるPDGを抑圧することができる。また、2つの異なる波長の光を合成し、さらに異なる波長の複数の合成光を合波した光を励起光として光ファイバ3に入力することにより、ラマン増幅器における利得帯域をさらに任意に拡大することができる。

【0067】信号光入力口1から入力され、光ファイバ3を伝搬した光信号は、上記ラマン増幅作用により増幅された後、波長合波器5、光アイソレータ4を低損失で伝搬し、信号光出力口2より出力される。このようにして、ラマン増幅器におけるPDGを抑圧しつつ、ラマン増幅効果により信号光を増幅することができる。

【0068】以上のように、本実施の形態のラマン増幅器によれば、合成出力光ファイバと偏波保持ファイバとの各接合点において、半導体レーザの出力偏波方向と偏波保持ファイバの主軸とをずらして接合して、各半導体レーザの出力光を偏波保持ファイバで伝搬定数差のある互いに直交した2つの偏波モードで所定長以上伝搬することにより、光ファイバに入力される励起光が実質上無偏光状態となるので、ラマン増幅器におけるPDGを抑圧しつつ、ラマン増幅効果により信号光を増幅することができる。

【0069】また、本実施の形態のラマン増幅器によれば、合成出力光ファイバと偏波保持ファイバとの各接合点において、半導体レーザの出力偏波方向と偏波保持ファイバの主軸とを45°ずらして接合することにより、より短い偏波保持ファイバの長さで光ファイバに入力される励起光を実質上無偏光状態とすることが可能となるので、励起光源を小型化することができる。

【0070】また、本実施の形態のラマン増幅器によれば、2つの異なる複数の波長の光を合成し、さらに上記合成された異なる波長の光を複数合波した出力光を励起光として光ファイバに入力することにより、ラマン増幅器における利得帯域をさらに任意に拡大することができる。

【0071】また、本実施の形態のラマン増幅器によれば、半導体レーザの出力光の波長を安定化させる外部共振器を備えたことにより、半導体レーザの出力光の波長を安定化させ、外部共振器出力をコヒーレントコブラス状態とした一定の偏波方向状態とすることが可能となるので、励起光波長が安定化した高安定度のラマン増幅器を得ることができる。

【0072】また、本実施の形態のラマン増幅器によれば、半導体レーザのバイアス電流に任意の変調周波数を重畳することにより、半導体レーザから出力されるレーザ光、すなわち、半導体レーザ及び外部変調器による出力を任意のスペクトル線幅とすることが可能となる。また、上記スペクトル線幅を拡大することにより、上記式(3)に従って、より短い偏波保持ファイバの長さで光ファイバに入力される励起光を実質上無偏光状態とすることが可能となるので、励起光源を小型化することができる。特に、半導体レーザから出力されるレーザ光のスペクトル線幅が1nm以上になるように変調周波数を重畳することにより、数mの偏波保持ファイバの長さで光ファイバに入力される励起光を実質上無偏光状態とすることが可能となる。

【0073】なお、本実施の形態では、半導体レーザの出力偏波方向と偏波保持ファイバの主軸とを45°ずらして接合する場合について説明したが、これに限定されるものではない。偏波保持ファイバの長さを長くする必要はあるが、45°以外の角度であっても光ファイバに入力される励起光を実質上無偏光状態とすることが可能であり、ラマン増幅器におけるPDGを抑圧することができる。また、すべての接合点において、半導体レーザの出力偏波方向と偏波保持ファイバの主軸とのずれ角を同一にしなくても良く、それぞれ異なる角度に設定しても良い。

【0074】また、本実施の形態では、半導体レーザ及び外部共振器等をそれぞれ4つ以上と、偏波合成器及び偏波保持ファイバ等をそれぞれ2つ以上と、波長多重化回路を1つ備える場合について説明したが、これに限定されるものではない。ラマン増幅器における利得帯域が制限される可能性はあるが、波長多重化回路をなくし、半導体レーザ及び外部共振器等をそれぞれ2つ、偏波合成器及び偏波保持ファイバ等を1つとした構成としても本実施の形態とほぼ同様の効果を得ることができる。

#### 【0075】

【発明の効果】以上説明したように、この発明のラマン増幅器によれば、伝送路を伝搬される信号光の伝送損失を励起光源から上記伝送路に入力された励起光のラマン増幅効果により補償するラマン増幅器において、上記励起光源は、光を出力する半導体レーザと、上記半導体レーザの出力光を伝搬定数差のある互いに直交した2つの偏波モードで所定長以上伝搬する偏波保持ファイバと、上記偏波保持ファイバを伝搬された出力光を上記伝送路に入力される励起光として出力する励起光源出力口とを備えたことにより、励起光が実質上無偏光状態となるので、ラマン増幅器におけるPDGを抑圧しつつ、ラマン増幅効果により信号光を増幅することができるという効果を奏する。

【0076】また、次の発明のラマン増幅器によれば、上記励起光源は、上記半導体レーザと、上記偏波保持フ

アイバとを有する無偏光化部をすべての上記半導体レーザの出力光が異なる波長となるように複数備え、さらに、複数の上記偏波保持ファイバを伝搬された複数の出力光を合波する波長多重化回路を備え、上記励起光源出力口は、上記波長多重化回路で合波された出力光を上記伝送路に入力される励起光として出力するように構成されたことにより、ラマン増幅器における利得帯域を拡大することができるという効果を奏する。

【0077】さらにまた、次の発明のラマン増幅器によれば、伝送路を伝搬される信号光の伝送損失を励起光源から上記伝送路に入力された励起光のラマン増幅効果により補償するラマン増幅器において、上記励起光源は、互いに異なる波長の光を出力する2つの半導体レーザと、上記2つの半導体レーザの出力光を直交合成する偏波合成器と、上記偏波合成器で合成された出力光を伝搬定数差のある互いに直交した2つの偏波モードで所定長以上伝搬する偏波保持ファイバと、上記偏波保持ファイバを伝搬された出力光を上記伝送路に入力される励起光として出力する励起光源出力口とを備えたことにより、ラマン増幅器におけるPDGを抑圧しつつ、ラマン増幅効果により信号光を増幅することができるうえ、ラマン増幅器における利得帯域を拡大することができるという効果を奏する。

【0078】また、次の発明のラマン増幅器によれば、上記励起光源は、上記2つの半導体レーザと、上記偏波合成器と、上記偏波保持ファイバとを有する無偏光化部をすべての上記半導体レーザの出力光が異なる波長となるように複数備え、さらに、複数の上記偏波保持ファイバを伝搬された複数の出力光を合波する波長多重化回路を備え、上記励起光源出力口は、上記波長多重化回路で合波された出力光を上記伝送路に入力される励起光として出力するように構成されたことにより、ラマン増幅器における利得帯域をさらに任意に拡大することができるという効果を奏する。

【0079】また、次の発明のラマン増幅器によれば、上記偏波保持ファイバは、当該偏波保持ファイバの主軸が上記半導体レーザの出力偏波方向に対して45°傾くように設置されたことにより、より短い偏波保持ファイバの長さで上記伝送路に入力される励起光を実質上無偏光状態とすることが可能となるので、励起光源を小型化することができるという効果を奏する。

【0080】また、次の発明のラマン増幅器によれば、上記半導体レーザの出力光の波長を安定化させる外部共振器を備えたことにより、半導体レーザの出力光の波長を安定化させ、外部共振器出力をコヒーレントコブラス状態とした一定の偏波方向状態とすることが可能となるので、励起光波長が安定化した高安定度のラマン増幅器を得ることができるという効果を奏する。

【0081】また、次の発明のラマン増幅器によれば、上記半導体レーザのバイアス電流に任意の変調周波数を

重畳したことにより、半導体レーザから出力される光を任意のスペクトル線幅とすることが可能となるという効果を奏する。

【0082】また、次の発明のラマン増幅器によれば、上記半導体レーザから出力される光のスペクトル線幅が1nm以上になるように上記半導体レーザのバイアス電流に変調周波数を重畳したことにより、数mという短尺な偏波保持ファイバで上記伝送路に入力される励起光を実質上無偏光状態とすることが可能となるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の実施の形態1に記載のラマン増幅器の構成を示す構成図である。

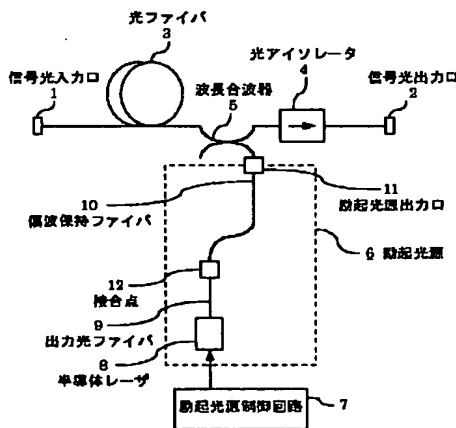
【図2】 この発明の実施の形態1における出力光ファイバと偏波保持ファイバの接合点を示す説明図である。

【図3】 この発明の実施の形態2に記載のラマン増幅器の構成を示す構成図である。

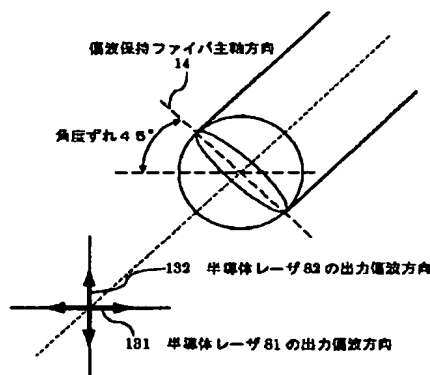
【図4】 この発明の実施の形態3に記載のラマン増幅器の構成を示す構成図である。

【図5】 この発明の実施の形態3における合成出力光

【図1】



【図5】



ファイバと偏波保持ファイバの接合点を示す説明図である。

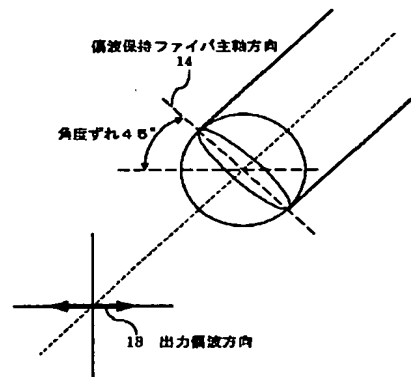
【図6】 偏波保持ファイバの長さとの励起光源の偏光度の関係を示す図である。

【図7】 従来のラマン増幅器の構成を示す構成図である。

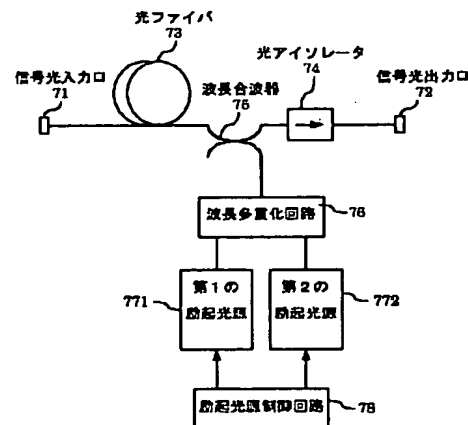
【符号の説明】

1、71 信号光入力口、 2、72 信号光出力口、  
3、73 光ファイバ、 4、74 光アイソレー  
10 タ、 5、75 波長合波器、 6 励起光源、7、7  
8 励起光源制御回路、 8、81~8n、81~8  
(2m) 半導体レーザ、 9、91~9n、91~9  
(2m) 出力光ファイバ、 10、101~10n  
偏波保持ファイバ、 11 励起光源出力口、 12、  
121~12n 接合点、 15、76 波長多重化回  
16 1~16 (2m) 外部共振器、 17 1~17n  
偏波合成器、 18 1~18n 合成出力光フ  
19 外部変調信号、 77 1 第1の励起  
77 2 第2の励起光源。

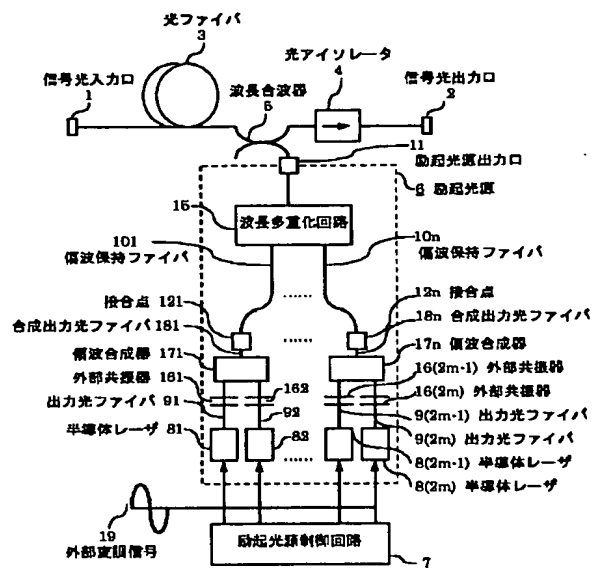
【図2】



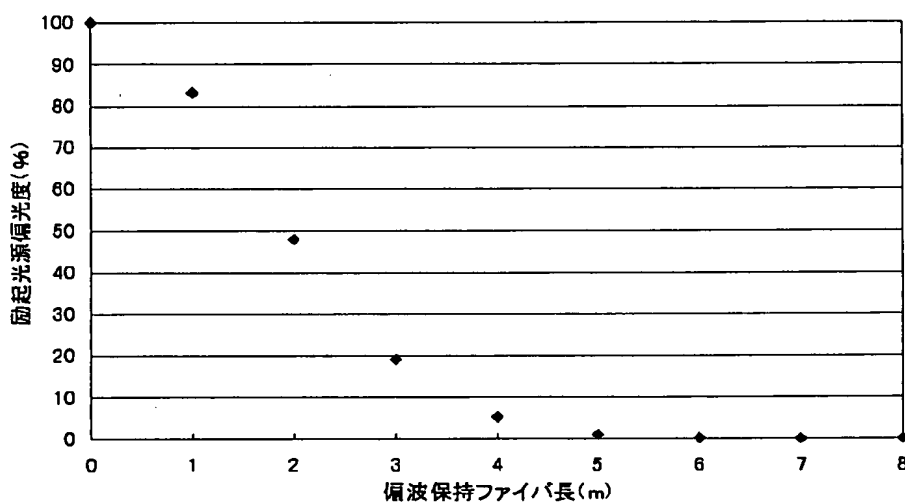
【図7】



【図 4】



【図 6】



(72)発明者 小暮 太一

F ターム (参考) 2K002 AA02 AB30 BA01 CA15 DA10  
EA30 GA01 HA23

EA30 GA01 HA23